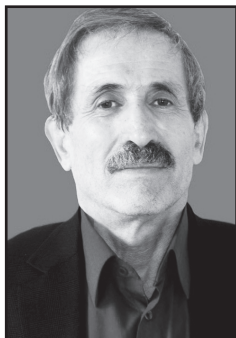




Формализация селективной технологии содержания инфраструктуры и страховой фонд



Юрий КРАКОВСКИЙ
Yuri M. KRAKOVSKY

Владимир НАЧИГИН
Vladimir A. NACHIGIN



Краковский Юрий Мечеславович — доктор технических наук, профессор кафедры информационных систем и защиты информации Иркутского государственного университета путей сообщения, Иркутск, Россия.

Начигин Владимир Александрович — кандидат технических наук, начальник технологической службы Восточно-Сибирской железной дороги — филиала ОАО «РЖД», Иркутск, Россия.

Formalization of Selective Technology of Infrastructure Maintenance and Safety Fund

(текст статьи на англ. яз. —
English text of the article — p.97)

Предложено математическое обеспечение для формализации селективной технологии ремонта верхнего строения пути, основанной на обслуживании по «фактическому состоянию». Селективная (выборочная) технология предполагает наличие страхового фонда, который выполняет две функции: накапливает платежи с различной периодичностью для выполнения различного вида ремонтных работ, а затем по мере необходимости оплачивает эти работы. Денежные потоки, связанные со страховым фондом, структурированы и рассчитаны на определенную периодичность использования, а само состояние фонда описывается случайным процессом риска. Оценка показателей технологического риска и меры достоверности дается с помощью имитационного моделирования.

Ключевые слова: железная дорога, страховой фонд, платежи, селективная технология, ремонтные работы, верхнее строение пути, имитационное моделирование, риски, затраты, денежные потоки.

Любой отказ технических средств или нештатная эксплуатационная ситуация снижают интенсивность железнодорожных перевозок, существенно влияя на экономические и производственные показатели субъектов транспортного рынка. В последнее время на эти сложные процессы дополнительно воздействуют угрозы, вызванные негативными изменениями в экономике и нарушениями в самой организации перевозок [1, 2].

Выход из создавшегося положения — модернизация подходов к эксплуатации и содержанию пути, контактной сети и в целом инфраструктурного комплекса. Необходимо перейти от традиционной (ситуационной) технологии к ремонту и обслуживанию инфраструктуры по «фактическому состоянию». Такая технология позволяет проводить ремонтные работы не в «аварийном» режиме, а в «профилактическом», который определяется средствами мониторинга и диагностики с учетом пропущенного грузооборота и конструктивных особенностей верхнего строения пути, например, радиуса кривых.

Предлагаемая технология названа селективной, поскольку она ориентирована на ремонт инфраструктуры по факту (выборочно,

селективно). Селекция (отбор) предполагает наличие страхового фонда, который выполняет две функции: накапливает платежи с различной периодичностью для выполнения различного вида ремонтных работ, а затем по мере необходимости оплачивает эти работы. Денежные потоки, связанные со страховым фондом, имеют следующую структуру:

1) Платежи для различных видов работ (накопление страхового фонда): а) аварийные; б) инвестиционные (модернизация и развитие пути); в) текущие. Для каждого вида работ устанавливается периодичность пополнения страхового фонда (сутки) и его стоимость (рубли).

2) Затраты, планируемые на выполнение работ (уменьшение страхового фонда). Для каждого вида работ устанавливается периодичность использования страхового фонда (сутки) и его стоимость (рубли).

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ СОСТОЯНИЯ ФОНДА

Формализация организации ремонтных работ на примере верхнего строения пути проведена на основе случайного процесса риска [3, 4], который в нашем случае описывает состояние страхового фонда в момент времени $t - R(t)$.

Первоначально формируется объем платежей на год. Далее годовой объем (X , млн руб.) распределяется по видам работ:

$$X^{(1)} = c_1 \cdot X, X^{(2)} = c_2 \cdot X, X^{(3)} = c_3 \cdot X; c_1 + c_2 + c_3 = 1. \quad (1)$$

Здесь c_j — коэффициент, учитывающий долю объема платежей для выполнения аварийных работ; $X^{(1)}$ — годовые платежи в страховой фонд на аварийные работы; c_2 — коэффициент, учитывающий долю объема платежей для выполнения инвестиционных работ; $X^{(2)}$ — годовые платежи в страховой фонд на инвестиционные работы; c_3 — коэффициент, учитывающий долю объема платежей для выполнения текущих ремонтных работ; $X^{(3)}$ — годовые платежи в страховой фонд на текущие ремонтные работы.

Стоимость одного платежа в страховой фонд для j -го вида работ с учетом (1):

$$Y_j = 365 \cdot X^{(j)} / h_j = c_j \cdot 365 \cdot X / h_j, j=1, 2, 3, \quad (2)$$

где 365 — число суток в году; h_j — периодичность платежей в страховой фонд (сутки) для j -го вида работ.

Суммарные накопления платежей в страховой фонд для выполнения ремонтных работ

j -го вида с учетом (1, 2) и сделанных предположений о периодичности его пополнения равны

$$YJ(t) = Y_j \cdot N_j(t) = (c_j \cdot 365 \cdot X / h_j) \cdot N_j(t), j=1, 2, 3, \quad (3)$$

где $N_j(t)$ — число платежей в страховой фонд за время t для j -го вида работ.

Время свершения аварийных ситуаций описывается процессом

$$T_i = T_{i-1} + t_i, i=1, 2, \dots, N_a(t), T_0=0, \quad (4)$$

где t_i — интервалы времени между аварийными ситуациями; $N_a(t)$ — число аварийных ситуаций за время t .

В условиях неопределенности интервалы t_i являются значениями случайной величины с заданной функцией распределения. Времени T_i (4) соответствуют затраты на ликвидацию i -й аварийной ситуации — Z_i . Эти затраты — тоже значения дискретной случайной величины.

Суммарные затраты на ремонтно-восстановительные работы по аварийным ситуациям за время t равны

$$YA(t) = \sum_{i=1}^{N_a(t)} Z_i. \quad (5)$$

Подчеркнем, что Z_i берутся именно из страхового фонда. Моделирование их величин предложено проводить в два этапа (алгоритм Z):

1) Определяем категорию аварийной ситуации (разновидность транспортного происшествия: крушение, авария и т. д.). Категория k является значением дискретной случайной величины, $k=1, \dots, K$, где K — число категорий аварийных ситуаций. Для ее моделирования следует знать дискретный закон распределения вероятностей (k, q_k) ; q_k — вероятность ситуации категории k , $\sum_{k=1}^K q_k = 1$. Результатом

этого этапа является категория k .

2) Определяем затраты на восстановление пути после аварийной ситуации. Для этого задаются K дискретных законов по затратам. Выбор номера закона определяется первым этапом. Каждый закон имеет вид: (c_{lk}, p_{lk}) , $l=1, \dots, L_k$. Здесь c_{lk} — затраты для случая l категории k ; p_{lk} — вероятность этого случая; L_k — число возможных случаев по затратам для категории k , $\sum_{l=1}^{L_k} p_{lk} = 1$, $k=1, \dots, K$. Значение затрат:

$$z_i = c_{lk}. \quad (6)$$



Для инвестиционных работ выделено три категории:

$d=1$ — рационализаторская и изобретательская деятельность;

$d=2$ — научно-исследовательская и опытно-конструкторская деятельность (НИОКР);

$d=3$ — программа ресурсосбережения.

Для первых двух категорий интервал времени между затратами на выполнение инвестиционных работ является случайной величиной с известной функцией распределения. Для программы ресурсосбережения затраты предусматриваются помесечные (в конце месяца).

Время начала инвестиционных работ для категории d и i -го случая:

$$G_{id} = G_{i-1,d} + g_{id}, \quad i=1,2,\dots, NI_d(t), \quad G_{0,d} = 0, \quad (7)$$

где g_{id} — интервалы времени между инвестиционными работами категории d i -го случая; $NI_d(t)$ — число работ категории d за время t . Времени G_{id} (7) соответствуют затраты на инвестиционную деятельность категории d для i -го случая — $U_{d,i}$. Они имеют значения случайной величины с известной функцией распределения.

С учетом сделанных предположений суммарные затраты на инвестиционные работы для категории d за время t составят

$$YU_d(t) = \sum_{i=1}^{NI_d(t)} U_{d,i}, \quad d=1,2,3. \quad (8)$$

Опять же эти затраты берутся из страхового фонда. Имея в виду (8), они равны

$$YU(t) = \sum_{d=1}^3 YU_d(t). \quad (9)$$

Аналогично можно найти суммарные затраты на выполнение текущих ремонтных работ:

$$YT(t) = \sum_{i=1}^{NT(t)} Y_i, \quad (10)$$

где Y_i — размер затрат для i -й текущей работы; $NT(t)$ — число видов таких работ за время t .

В этих обозначениях состояние страхового фонда описывается случайным процессом риска:

$$R(t) = X_0 + Y1(t) + Y2(t) + Y3(t) - YA(t) - YU(t) - YT(t), \quad (11)$$

где X_0 — начальные средства страхового фонда; $YJ(t)$ — суммарные накопления платежей по видам работ (3), ($j=1, 2, 3$); $YA(t)$ — суммарные затраты по аварийным ситуациям (5); $YU(t)$ — суммарные затраты на инвестиционные работы (8); $YT(t)$ — суммарные затраты на те-

кущие работы (10). Для исследования процесса (11) требуется имитационное моделирование [5, 6].

ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА

Для случайного процесса риска (11) определяется момент времени τ , когда первый раз выполняется условие $R(t) < 0$:

$$\tau = \min_t \{t: R(t) < 0\}. \quad (12)$$

Момент времени (12) демонстрирует эффективность организации работ с точки зрения распределения платежей по их видам. Его предлагается считать технологическим риском и оценивать показателем r_τ как вероятность специального события $\tau < T_\tau$:

$$r_\tau = P(\tau < T_\tau), \quad (13)$$

где T_τ — заданное значение.

При использовании имитационного моделирования показатель (13) характеризуется точечной (\tilde{R}_τ) и интервальной (τ_1, τ_2) оценками:

$$\tilde{R}_\tau = k_\tau / n, \quad (14)$$

где k_τ — число реализаций случайного процесса риска (11), для которых $\tau < T_\tau$, n — общее число промоделированных реализаций.

Вычисление доверительного интервала рекомендуется тремя моделями в зависимости от значения (14) [7, 8]:

1) $\tilde{R}_\tau < 0,01$ («редкое событие») — находится лишь верхняя граница:

$$\tau_2 = 1 - (1 - \gamma)^{1/n}. \quad \text{При } \gamma = 0,95 \quad \tau_2 \approx 3/n, \quad \tau_1 = 0; \quad (15)$$

2) $0,01 \leq \tilde{R}_\tau \leq 0,15$ («относительно редкое событие»):

$$\tau_1 = k_\tau / [k_\tau + (n - k_\tau + 1) \cdot F_1(p_1, p_2)], \quad (16)$$

где $F_1(p_1, p_2)$ — критическое значение для F -распределения при p_1 и p_2 степенях свободы и доверительной вероятности γ ; $p_1 = 2 \cdot (n - k_\tau + 1)$, $p_2 = 2 \cdot k_\tau$;

$$\tau_2 = (k_\tau + 1) \cdot F_2(p_1, p_2) / [n - k_\tau + (k_\tau + 1) \cdot F_2(p_1, p_2)], \quad (17)$$

где $F_2(p_1, p_2)$ — критическое значение для F -распределения при p_1 и p_2 степенях свободы и доверительной вероятности γ ; $p_1 = 2 \cdot (k_\tau + 1)$, $p_2 = 2 \cdot (n - k_\tau)$;

3) $\tilde{R}_\tau > 0,15$ («обычное по частоте событие»), при достаточно большом объеме выборки n возможна аппроксимация нормальным законом:

$$\tau_1 = \tilde{R}_r - \varepsilon; \tau_2 = \tilde{R}_r + \varepsilon; \varepsilon = k_\gamma \cdot (\tilde{R}_r \cdot (1 - \tilde{R}_r) / n)^{1/2}, \quad (18)$$

где k_γ – квантиль нормального закона для доверительной вероятности γ .

Для определения меры достоверности имитационной модели проверяется попадание математических ожиданий затрат по видам работ в их доверительные интервалы. Так, например, математическое ожидание затрат на ремонт после аварий:

$$M_z = \sum_{k=1}^K q_k \cdot M_k, \quad M_k = \sum_{l=1}^{L_k} p_{lk} \cdot c_{lk}, \quad (19)$$

где M_k – математическое ожидание затрат по k -й аварийной ситуации.

Значение (19) должно попасть с доверительной вероятностью γ в доверительный интервал (z_1, z_2) :

$$z_1 = \tilde{z} - \beta; \quad z_2 = \tilde{z} + \beta; \quad \beta = k_\gamma \cdot s_z / \sqrt{I}, \quad (20)$$

где k_γ – квантиль нормального закона для доверительной вероятности γ ; s_z – оценка среднеквадратического отклонения затрат; I – объем выборки, полученной имитационной моделью; \tilde{z} – оценка математического ожидания затрат на ремонт по аварийным ситуациям:

$$\tilde{z} = \sum_{i=1}^I z_i / I, \quad (21)$$

где z_i – затраты для i -й аварийной ситуации, полученные по алгоритму $Z(6)$.

ВЫВОДЫ

Направленность и экономический смысл исследования селективной технологии организации работ для верхнего строения пути заключается в следующем: имея статистические данные по периодичности и затратам на различные их виды, ставится задача методом имитационного моделирования подобрать параметры (1, 2) таким образом, чтобы значение показателя технологического риска (13) с учетом (14–18) было не выше заданного значения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фролов В. Ф. Новые подходы к управлению перевозочным процессом в условиях динамического изменения внешней среды // Железнодорожный транспорт. – 2014. – № 4. – С. 14–18.
2. Краковский Ю. М., Начигин А. В. Оценка факторов, влияющих на возникновение транспортных происшествий // Путь и путевое хозяйство. – 2011. – № 11. – С. 2–4.
3. Королев В. Ю., Бенинг В. Е., Шоргин С. Я. Математические основы теории риска. – М.: Физматлит, 2011. – 620 с.
4. Краковский Ю. М., Лукьянов Д. А., Начигин А. В. Исследование показателей динамических рисков, характеризующих безопасность движения на транспорте // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2013. – № 3. – С. 299–304.
5. Кельтон В. Имитационное моделирование: Пер. с англ. – СПб.: Питер, 2004. – 847 с.
6. Краковский Ю. М., Домбровский И. А. Вероятностный анализ безубыточности грузовых перевозок на основе метода Монте-Карло // Известия Транссиба. – 2013. – № 1. – С. 125–130.
7. Закс Л. Статистическое оценивание. – М.: Статистика. – 1976. – 598 с.
8. Краковский Ю. М., Лукьянов Д. А., Начигин А. В. Автоматизированный расчет показателей динамических рисков при наличии отказов технических средств // Известия Транссиба. – 2013. – № 4. – С. 84–88. ●

Координаты авторов: Краковский Ю. М. – kum@stranzit.ru, Начигин В. А. – nachiginv@yandex.ru. Статья поступила в редакцию 22.10.2014, принята к публикации 05.01.2015.

FORMALIZATION OF SELECTIVE TECHNOLOGY OF INFRASTRUCTURE MAINTENANCE AND SAFETY FUND

Krakovsky, Yuri M., Irkutsk State University of Railway Transport, Irkutsk, Russia.
Nachigin, Vladimir A., Russian Railways JSC, Irkutsk, Russia.

ABSTRACT

Any failure of technical means or abnormal operation situation reduces the intensity of rail traffic, significantly affects economic and operational performance of the transport market actors. In recent years, these complex processes have additionally been affected by threats caused by adverse changes in the economy and irregularities in the organization of transportation [1, 2]. So it is necessary to move from a traditional (situational) technology to a new one, «preventive», which is determined by means of monitoring and diagnostics based on a missed freight turnover and structural features of the track superstructure. The objective of the authors is to investigate a

selective technology of repair and maintenance of the track superstructure.

The proposed technology is called selective because it is focused on repair of infrastructure on the fact (optionally, selectively). Selection implies the existence of an insurance or safety fund, which performs two functions: it collects payments with varying frequency to perform various types of repair work, and then as needed pays for these works. Cash flows related to the insurance fund, are structured and designed for a specific frequency of use, and the state of the fund itself is described by a random process of risk. Assessment of technological risk indicators and measures of reliability is given by simulation.

Keywords: railway, insurance fund, payments, selective technology, repairs, track superstructure, simulation, risks, costs, cash flows.

